

Das Blut und die Excretionsorgane von *Sipunculus nudus*.

Von

S. J. Metalnikoff.

Wohl kaum ist ein anderes Thier zu finden, dessen Blut aus einer solchen Masse verschiedener Formelemente besteht, wie dasjenige von *Sipunculus nudus* und überhaupt der Gephyreen. Außer den gewöhnlichen Leucoeyten besitzen sie rothe Blutkörperchen, denjenigen der Vertebraten ähnlich, ferner aber große, runde Scheiben, Infusorien und besondere Organismen, die sogenannten Töpfchen, welche schon früh die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sich zogen. Diese Töpfchen oder Urnen, wie sie die Franzosen nennen, sind runde, durchsichtige Gebilde, die ein wenig an Medusen erinnern, deren Mantelrand mit Wimpern besetzt ist. Durch die Wimpern bewegen sich die Töpfchen schnell fort und ähneln in ihren Bewegungen den ciliaten Infusorien. Desswegen war man seit Langem der Meinung, die Töpfchen seien eine Ciliate, die in der Leibeshöhle von *Sipunculus* parasitirte. Dies schien um so glaubwürdiger, als die Töpfchen sich augenscheinlich von den Blutkörpern von *Sipunculus* ernähren. Wirklich kann man immer im unteren Theile des Töpfchens unter den Wimpern eine protoplasmatische Masse sich zersetzender, halbzerstörter Blutkörper unterscheiden. Allein trotz dieser äußeren Ähnlichkeit mit Infusorien erweisen sich die Töpfchen bei näherer Untersuchung ganz anders gebaut als Infusorien.

Der Hauptunterschied besteht darin, dass sie vielzellige und nicht einzellige Organismen sind. Ich habe den Bau der Töpfchen bei einigen Gephyreenarten untersucht: bei *Sipunculus nudus*, *S. tessellatus* und *Phymosoma*, wobei es sich erwies, dass sie bei allen drei Thieren verschieden gebaut sind.

Bei *Sipunculus nudus* besteht das Töpfchen aus 2 Zellen. Der Kern der einen Zelle befindet sich seitwärts. Er ist schon von vielen Forschern beschrieben worden. Der zweite Kern liegt auf dem Grunde des Töpfchens, in der Mitte des Discus, ist viel größer als der untere und zeichnet sich durch die charakteristische Anordnung des Chromatins aus.

Das Töpfchen von *Sipunculus tessellatus* ähnelt dem von *S. nudus* sehr. Es hat gleichfalls die Form eines runden, durchsichtigen Töpfchens, mit Wimperreihen an den Seiten, besitzt gleichfalls 2 Kerne, einen großen und einen kleinen, aber der letztere liegt nicht seitwärts, sondern an der Spitze des Töpfchens.

Die Töpfchen von *Phymosoma* sind den eben beschriebenen nur wenig ähnlich. Unzweifelhaft aber sind sie analoge Gebilde: sie tragen auch Wimpern, bewegen sich gleichfalls schnell im Blute und nähren sich gleichfalls von Blutkügelchen. Ihr Hauptunterschied besteht darin, dass sie nicht aus 2 Zellen, sondern aus 5, 6, 7 und mehr bestehen. Im Centrum befindet sich eine große, centrale Zelle, welche mit Wimpern besetzt ist und einen großen Kern hat, rings herum einige kleinere Zellen mit kleinen Kernen.

Jetzt schreite ich zur Beschreibung der übrigen Bestandtheile des Blutes. Wenn man in einem Probirgläschen Blut von *Sipunculus* sammelt und es stehen lässt, so bemerkt man bald einen großen rothen Satz. Die Farbe dieses Satzes wird durch besondere Blutkügelchen bedingt, die äußerlich sehr an die rothen Blutkörperchen der Wirbelthiere erinnern. Diese Ähnlichkeit beschränkt sich nicht nur auf die Form, sondern erstreckt sich auch auf ihre physiologische Funktion. Wie KRUKENBERG (4) nachgewiesen hat, enthalten sie einen besonderen, von ihm Hämerythrin benannten Stoff, welcher dem Hämoglobin entspricht. Die Form dieser Blutkörper ist rund, wenn sie flach liegen, und bisquitförmig im Durchschnitt. Doch muss bemerkt werden, dass ihre Form nicht immer konstant ist: in seltenen Fällen beobachtete ich, wie die gewöhnlich runden Kügelchen eine spindelförmige Gestalt annehmen oder Pseudopodien entsandten.

Sie bestehen aus vollständig durchsichtigem, von einer Membran umgebenem Plasma und aus dem in der Mitte gelegenen Kerne. Im Plasma finden wir gewöhnlich einige Vaenolen von verschiedener Größe. Oft sah ich an Stelle der Vacuolen rhombische Krystalle. Diese Zellen sind nicht immer von ein und derselben Größe, sondern nicht selten mehrere Mal größer als die gewöhnlichen. In diesen

Fällen ist der Kern gewöhnlich stark verändert, nämlich in 2, 4, 6 oder 8 Knollen ausgezogen, die die Form von Knospen haben. Die Verengerungen werden dünner, und der Kern zerfällt in einige kleine Kerne, welche neuen jungen Zellen den Anfang geben. In seltenen Fällen beobachtete ich auch die Theilung der Zelle selbst. So ist die Theilung des rothen Blutkörperchens eine Folge der Knospung des Kernes.

Der dritte Bestandtheil des Blutes sind die Leucocyten. Man findet zwei Arten von ihnen: die einen sind klein, mit dünnen, durchsichtigen Pseudopodien; ihr Plasma ist gewöhnlich voll gelbbrauner Körner: die anderen sind viel größer und unterscheiden sich nicht nur durch ihre Größe, sondern auch durch die Structur des Plasmas, das aus durchsichtigen Körnern zusammengesetzt erscheint. Der Kern ist gewöhnlich sehr klein und ganz auf die Seite gedrängt.

Der vierte Bestandtheil sind die großen, runden, durchsichtigen Scheiben. Diese findet man sehr zahlreich im Blute von *Sipunculus nudus* und anderer Gephyreen. Die einen sind nicht groß und bestehen aus 1, 2 und 4 Zellen, andere erreichen die Größe von einigen Millimetern und bestehen aus vielen Zellen. Jede Zelle ist polygonal und scharf von der anderen gesondert, so dass sogar ohne Färbung ihre Grenzen gut sichtbar sind. Jede Zelle hat einen Kern, der in einer Vertiefung ruht. Besonders charakteristisch ist die Maschenstructur des Plasmas, und durch sie unterscheiden sich diese Zellen von den übrigen, im Körper der Gephyreen beobachteten.

In seltenen Fällen beobachtete ich im Blute von *Sipunculus nudus* parasitische ciliate Infusorien. Diese haben einen länglichen, ovalen Körper mit Reihen von Wimpern. In der Mitte des Körpers liegt der Mund, von langen Wimpern umgeben, darunter die pulsirende Vacuole. Im Centrum liegt der Makronucleus mit dem Mikronucleus.

Endlich kann man zu den Bestandtheilen des Blutes noch die Geschlechtsproducte zählen, die, wie bekannt, gleich den anderen Elementen frei im Blute schwimmen. Hier durchlaufen sie alle Stadien ihrer Entwicklung und gelangen zuletzt, reif geworden, in die Segmentalorgane, durch welche sie nach außen befördert werden.

Nachdem ich so alle Bestandtheile des Blutes untersucht hatte, begann ich ihre Bedeutung und ihre Herkunft zu studiren. Vor Allem beschäftigte mich die Frage nach der Herkunft der Töpfchen. CUÉNOT (2) und LANKESTER (5) sahen die Töpfchen an der

Außenseite der Gefäße befestigt und äußerten die Meinung, dass sie sich hier bildeten. Ich fand gleichfalls viele Töpfchen an den Gefäßen befestigt. Da die Gefäße durchsichtig sind, so scheint es wirklich bei Untersuchung unter dem Mikroskope, dass die Töpfchen äußerlich sitzen. Aber ein einfaches Experiment beweist, dass dieses falsch ist, und dass die Töpfchen in den Gefäßen selbst sitzen. Bei Injection von Carmin, Tusche oder einem anderen Farbstoffe nämlich verschlingen die Töpfchen diese Stoffe schnell und nehmen in Folge dessen die entsprechende Färbung an. Säßen sie nun wirklich an der Außenwand der Gefäße, so müssten sich bei Hinzufügung von Carmin zu der Flüssigkeit, in der man das Gefäß betrachtet, die Töpfchen färben. In Wirklichkeit geschieht dies nicht, man braucht aber nur das Carmin in das Gefäß selbst hineinzuspritzen, und die Töpfchen färben sich sogleich. Somit ist es klar, dass sie in den Gefäßen selbst sitzen.

Bevor wir über die Entstehung der Töpfchen etwas sagen, müssen wir mit einigen Worten den Bau der Gefäße selbst schildern, in denen sie sich bilden.

Wie bekannt, besteht das Gefäßsystem von *Sipunculus* aus 2 Gefäßen, welche am Schlunde entlang ziehen und blind enden. Sie erweitern sich nach vorn zu einer kleinen Höhlung, welche den Mund umgibt und mit den Fühlern in Verbindung steht.

Die Gefäßwände bestehen aus vielen dünnen Quer- und Längsmuskelfasern und einem dünnen, sie bedeckenden Epithel. Bei der Versilberung treten nicht nur die Grenzen der Epithelzellen klar zu Tage, sondern auch zwischen den Epithelzellen andere Zellen. Diese sind vollständig rund und haben etwas kleinere Kerne als die Epithelzellen. Jede runde Zelle ist mit einem Wimperbüschel versehen. In Folge dieser Wimpern befindet sich der Inhalt der Gefäße, d. h. die Blutkörper, in schneller Bewegung. Wenn man die Gefäßwand in Stücke zerreißt, um ihre innere Fläche bloßzulegen, so kann man die runden, bewimperten Zellen sehr wohl bemerken. Außerdem treten noch andere Besonderheiten in der Structur der Innenfläche der Gefäße zu Tage.

Zwischen den Epithelzellen und den runden, bewimperten Zellen sind die Töpfchen in großer Anzahl zerstreut. Hier sind sie aber nicht frei, sondern an den Wänden durch kurze Stiele befestigt. Ferner sind sie nicht gleichförmig entwickelt: die einen sind ganz ausgebildet und erinnern vollkommen an jene frei schwimmenden Töpfchen, welche wir in der Körperhöhle antreffen; andere sind

noch nicht vollständig entwickelt und bilden frühere Stadien derselben Töpfchen. Im Allgemeinen geht die Entwicklung folgendermaßen vor sich. Anfangs haben wir eine runde, bewimperte Zelle, darauf wölbt sich diese ein wenig hervor, wobei ihr die Wimpern seitwärts als Schopf aufsitzen. Das folgende Stadium zeigt dieselbe Protuberanz ein wenig verändert und napfförmlich; darauf umwachsen die Wimpern den Rand dieser Schale. Nun wächst der Napf in die Höhe, seine Basis wird enger und bildet den Fuß, mit dem er an der Gefäßwand befestigt ist. Oft entstehen am selben Fuße seitwärts durch Knospung neue Töpfchen, und so finden sich an ein und demselben Fuße Töpfchen auf allen Stadien.

Sind nun diese befestigten Töpfchen jenen Gebilden analog, die wir frei in der Körperhöhle antreffen? Mir scheint es, dass wir auf diese Frage mit Ja antworten müssen: die befestigten Töpfchen ähneln nicht nur in Bau und Gestalt den freien, sondern sind auch ihrer Function nach, die wir nachher kennen lernen werden, vollständig analog. Bilden sich aber auf solche Weise die Töpfchen in den Gefäßen selbst, wie gelangen sie in die Leibeshöhle?

Nach der Meinung vieler Forscher, die sich mit der Anatomie von *Sipunculus* befasst haben, steht das Gefäßsystem nicht mit der Leibeshöhle in Verbindung. Wirklich findet man weder an Schnitten, noch an ganzen Präparaten irgend welche Öffnungen. Nur durch Silber habe ich zwischen den Wänden der Epithelzellen kleine, runde Öffnungen entdeckt, jedoch sind diese so klein, dass die Töpfchen wohl kaum durch sie hindurch können. Wir haben aber nur die Wahl zwischen beiden folgenden Annahmen: entweder treten die Töpfchen durch die Öffnungen hindurch, wobei es ja möglich ist, dass diese im lebendigen Gewebe breiter sind, oder die Töpfchen bilden sich auch an anderen Stellen des Körpers. Die letzte Annahme ist eben so wahrscheinlich wie die erste. Bekanntlich sind die inneren Organe mit flachem Epithel ausgekleidet, zwischen dem Wimperzellen zerstreut stehen. Mir schienen letztere Zellen jenen runden sehr ähnlich zu sein, welche ich aus den Gefäßen beschrieben habe, jedoch habe ich die Bildung und Entwicklung der Töpfchen an anderen Stellen nicht beobachtet. Vielleicht reißen sich die sich bildenden Töpfchen in Folge von Compression der Körperwand vor der Zeit los und entwickeln sich frei im Blute.

Nun noch einige Worte über die Entstehung der anderen Elemente des Blutes!

Die Leucocyten entstehen wahrscheinlich in einer besonderen

Drüse, welche ich in den Gefäßwänden fand. Sie ist gewöhnlich nur in der Wand des einen Gefäßes vorhanden und fehlt an der Wand des anderen Gefäßes entweder gänzlich oder ist nur sehr schwach entwickelt. Sie liegt als kleiner Auswuchs (1 oder 2 mm breit, 1 cm lang) im unteren Theile des Gefäßes, dort, wo es blind endet. Auf einem Durchschnitte erscheint sie als eine Anhäufung von Leucocyten ähnlichen Zellen.

Die Geschlechtsproducte (Eier und Spermatozoen), die sich bekanntlich in großen Mengen im Blute befinden, entstehen in kleinen Drüsen an der Basis der ventralen Retractoren. Diese Drüsen bilden kleine, kaum merkliche Höcker, die sich als dünner Streifen längs der Basis des Muskels hinziehen. Mit ihrer Structur kann man sich nur auf Schnitten bekannt machen; dabei erweist es sich, dass sie Ähnlichkeit mit einem Baume haben, der mit seinem Stamme dem Muskel aufsitzt. Der Zwischenraum zwischen den Zweigen ist mit einer Masse verschiedener Zellen ausgefüllt. An der Basis des Bäumchens liegt eine Gruppe Zellen, die sich scharf von denen des mittleren und oberen Theiles unterscheiden. Diese Zellen sind sehr klein und vollständig rund. Gleich unter ihnen liegt eine andere Gruppe sehr großer Zellen, deren große Kerne unregelmäßige Contouren und eine charakteristische Anordnung des Chromatins zeigen. Endlich liegt am Gipfel des Bäumchens eine dritte Zellengruppe, die sich in ihrem Bau scharf von den Zellen der beiden anderen Gruppen unterscheidet. Solche Zellen finden wir auch frei im Blute, und sie sind die jüngsten Stadien der Eier und Spermatozoen, die, wie bekannt, im Blute reifen. So durchläuft die Geschlechtszelle, ehe sie sich losreißt und ins Blut gelangt, drei Stadien in der sie bildenden Drüse.

Um die Bedeutung und Function der Elemente des Blutes zu bestimmen, machte ich Injectionen verschiedener Farbstoffe in die Leibeshöhle.

Wenn wir einem lebenden *Sipunculus* Carminpulver, Bacterien oder Ammoniakcarmin injiciren, so werden diese Stoffe schnell von den kleinen Leucocyten und Töpfchen verschlungen. Interessant ist der Umstand, dass in Folge von Injectionen die phagocytären Fähigkeiten der Töpfchen sehr verstärkt werden. In gewöhnlichen Verhältnissen, ohne Injection, haben die Töpfchen unten, unter den Wimpern, dort, wo die Phagocytose vor sich geht, eine verhältnismäßig kleine Menge sich zersetzender Blutkörperchen. Nach der Injection aber bilden sich bei ihnen große Anhänge, die aus auf-

gefangenen Blutkörperchen und injicirten Massen bestehen. Das weitere Schicksal der Töpfchen, welche die injicirten Massen verschlungen haben, ist folgendes: indem sie auf einander stoßen und sich mit ihren Anhängen verkleben, bilden sie Haufen, die allmählich anwachsen und zu kleinen Klumpen werden. Die Ränder eines solchen Klumpen runden sich ab, werden schleimig, und er nimmt die Form einer Erbse oder Bohne an. Solche Bohnen fand ich auch bei Exemplaren, denen ich keine Injectionen machte, aber in diesem Falle bestanden sie aus Sand. Wie bekannt, verschlingt *Sipunculus* eine Masse Sand, so dass der Darm immer damit angefüllt ist. Vielleicht reißt der Darm in einigen Fällen, und der Sand geräth in die Leibeshöhle, wo er sich dank den Töpfchen in runde, glatte und schleimige Klumpen verwandelt, die keinen Schaden anzurichten im Stande sind.

Ich habe schon oben erwähnt, dass die Töpfchen sich von Blutkörpern nähren. Das Verschlingen der Blutkörper kann man leicht an lebenden Töpfchen beobachten. Dazu braucht man nur einen Tropfen Blut von *Sipunculus* zu nehmen und unter dem Mikroskope ein Töpfchen eine halbe oder ganze Stunde lang zu beobachten; man sieht dann klar, wie die Blutkörper verschlungen und allmählich im Plasma des Töpfchens zerstört werden. Wenn wir nur auf dieser Beobachtung fußen, so könnten wir glauben, dass wir es mit einem Parasiten zu thun haben; aber das Vorhandensein der Töpfchen in den Gefäßen und ihre Entwicklungsgeschichte zeigt, dass es Elemente des Blutes sind, die eine bestimmte Function haben.

Die Function dieser Töpfchen ist, wie wir oben gesehen haben, zum Theil der der Phagoeyten ähnlich, wobei sie speciell darauf eingerichtet sind, den Organismus vor harten Gegenständen zu hüten, die bei zufälliger Läsion des Darmes in die Leibeshöhle gerathen. Außerdem haben sie noch eine nützliche Bedeutung, auf die CUÉNOT und Andere hinweisen. Wie bekannt, ist die Leibeshöhle von *Sipunculus* mit viel Blut angefüllt, das eine solche Masse verschiedener Elemente enthält, dass es ganz dickflüssig ist. Dabei fehlt dem Thiere ein Herz, um das Blut in Bewegung zu bringen, vollständig. So wäre es möglich, dass die sich schnell bewegenden Töpfchen diesen Mangel ausfüllten und gleichfalls dazu dienen, das Blut in beständiger Bewegung zu erhalten.

Jetzt will ich noch das Schicksal der übrigen von mir injicirten Massen erwähnen: des Indigo-Carmins und des Fuchsin. Wie bekannt, theilt man das Excretionssystem der Thiere auf Grund der

physiologischen Injectionen in 3 Gruppen: zur 1. gehören alle jene Organe und Zellen, die sich an der Excretion von Ammoniak-Carmin betheiligen; zur 2. Gruppe die Organe, welche Indigo-Carmin und Fuchsin ausscheiden; endlich zur 3. Gruppe Organe und Zellen, die zur Excretion oder Entfernung fester Stoffe oder Bacterien aus dem Blute dienen.

Das Vorhandensein aller dieser 3 Gruppen lässt sich leicht durch Injectionen nachweisen. Wenn wir z. B. einem Insecte eine Mischung von Indigo-Carmin, Ammoniak-Carmin und fester Tuscheilchen injiciren, so können wir uns nach einigen Stunden davon überzeugen, dass das Indigo-Carmin durch die MALPIGHI'schen Gefäße, das Ammoniak-Carmin durch die Pericardialzellen, die Tusche aber von Phagocyten aufgenommen wird.

Bei *Sipunculus* konnte ich diese 3 Gruppen nicht auffinden, denn das Ammoniak-Carmin wird, wie ich oben erwähnte, von Leucocyten und den Töpfchen verschlungen, Indigo-Carmin und Fuchsin aber werden durch die Segmentalorgane ausgeschieden. Wie bekannt, befinden sich diese Organe im vorderen Theile des Körpers und bilden lange, stark dehnbare Säcke, welche durch kaum merkliche Öffnungen sowohl mit der Leibeshöhle, als auch mit der Außenwelt in Verbindung stehen. Es ist interessant, dass bei den Anneliden das Indigo-Carmin nicht durch die Segmentalorgane, sondern durch die Chloragogenzellen ausgeschieden wird. So ist es denn klar, dass die Segmentalorgane der Gephyreen ihrer Function nach den Segmentalorganen der Anneliden nicht entsprechen.

Verzeichnis der in vorliegender Arbeit citirten Werke.

1. Brandt, Al., Anatomisch-histologische Untersuchungen über den *Sipunculus nudus* L. in: Mém. Acad. Pétersbourg (7) Tome 16 1870 pag. 9.
 2. Cuénot, L., Etudes sur le sang et les glandes lymphatiques. in: Arch. Z. Expér. (2) Tome 9 1891 pag. 597 ff.
 3. Keferstein, W., & E. Ehlers, Untersuchungen über die Anatomie des *Sipunculus nudus*. in: Z. Beiträge Leipzig 1861 pag. 35 ff.
 4. Krukenberg, C. Fr. W., Vergleichend-physiologische Vorträge. 1. Bd. 1886.
 5. Lankester, E., Histology of *Sipunculus nudus*. in: Ann. Mag. N. H. (4) Vol. 11 1873 pag. 88 ff.
-